

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЛВД В СОСТАВЕ ПБНА

Любимов Э.В.¹, Шулаков Н.В.², Шутемов С.В.³

¹ Пермь, Россия, lis.pstu@mail.ru

² Пермь, Россия, shulakov@psu.ru

³ Пермь, Россия, shutemsv@yandex.ru

Аннотация - Цилиндрический линейный вентильный электродвигатель (ЦЛВД) разработан для погружного бесштангового электронасосного агрегата (ПБЭНА), осуществляющего добычу нефти из скважин. ПБЭНА должен выполнять функцию, аналогичную функции станка-качалки с приводом глубинного штангового плунжерного насоса.

Ключевые слова – линейный электродвигатель, плунжерный насос, электронасосный агрегат.

ВВЕДЕНИЕ

Добыча нефти не обходится без применения сложного оборудования и такой его важной составляющей, как насосный нефтедобычный агрегат. В связи с продолжающейся тенденцией на нефтяных промыслах России с повышением глубин добычи, уменьшением дебита эксплуатируемых месторождений, существующие виды добычных агрегатов начинают не в полной мере соответствовать требованиям условий современных нефтяных промыслов. В связи с истощением существующих нефтяных месторождений происходит рост парка средне- и малodeбитных скважин. Добыча нефти из таких скважин в основном производится с помощью станков-качалок, электропривод которых и наличие колонны штанг не обеспечивает необходимых технических требований.

Цилиндрический линейный вентильный электродвигатель (ЦЛВД) разработан для погружного бесштангового электронасосного агрегата (ПБЭНА), в целях добычи нефти из средне- и малodeбитных скважин. ПБЭНА выполняет функцию, аналогичную функции станка-качалки с приводом глубинного штангового плунжерного насоса. Основой принципа действия штангового насоса является возвратно-поступательное движение поршня плунжера, связанного посредством штока с электродвигателем типа ЦЛВД. При использовании агрегата исчезает потребность подготовки фундамента под станок-качалку, так как привод ЦЛВД находится непосредственно в забое скважины. Такое решение позволяет получить определенные преимущества по сравнению со станком-качалкой, что позволит более тщательно производить отбор нефти из стареющих месторождений и соответственно повысить коэффициент извлечения нефти. Также применение ПБЭНА должно снизить затраты электроэнергии, что обусловлено отсутствием

трения об насосно-компрессорные трубы (НКТ) при подъеме веса колонны штанг.

ОБОСНОВАНИЕ

В мировой практике нефтедобычи получили распространение следующие глубиннонасосные установки:

1. Скважинные штанговые насосные установки (СШНУ).

2. Установки погружных центробежных насосов с электроприводом (УЦН).

В нашей стране наибольшее распространение по фонду добывающих скважин получили СШНУ, а по объему добычи - УЦН. Это связано с тем, что установки СШНУ предназначены для эксплуатации низко- и среднедебитных скважин, а установки УЦН - для эксплуатации средне- и высокодебитных скважин.

Скважины с дебитом более 100 м³/сут относятся к высокодебитным, независимо от высоты подъема. Низкодебитными скважинами будут являться такие, дебит которых не более 5,0 м³/сут. Скважины, которые не попадают в группы высоко- и низкодебитных, относят к среднедебитным.

Технико-экономические расчеты, а также длительная практика применения СШНУ и УЦН показали, что приведенные области применения глубиннонасосного оборудования являются достаточно обоснованными [2].

Самым распространенным видом механизированной добычи нефти являются СШНУ (скважинная штанговая насосная установка), которыми оборудовано свыше половины общего фонда нефтяных скважин. Привод насосного агрегата таких установок находится на устье скважины и называется станком-качалкой. Станок-качалка обеспечивает перемещение плунжера насоса посредством длинной колонны насосных штанг с рабочим режимом 3-10 качаний в минуту. Станки-качалки обеспечивают высокий напор в ограниченном диапазоне подач от 5 до 50 куб.м/сут. В области добычи от 1 до 40 куб.м/сут станки-качалки имеют высокий КПД. При подаче, равной 35 куб.м/сут он достигает значения 40%. При этом чем меньше подача, тем меньше и КПД.

УЦН имеют высокий КПД добычи нефти – более 40%, в области больших подач (более 300 куб.м/сут). Однако при добыче менее 80 куб.м/сут КПД резко падает. УЦН невозможно эффективно использовать при дебите менее 40 куб.м/сутки, так как при меньших дебитах резко (в разы) падает их КПД. Именно поэтому такие установки имеет смысл использовать только на высокодебитных скважинах.

Из вышеизложенного, приходим к выводу: для высокодебитных скважин наиболее подходящими являются центробежные насосы, а для средне- и малодебитных скважин, с осложненными режимами работы, – насосы объемного типа, например плунжерные [2].

Несмотря на значительный прогресс в совершенствовании СШНУ они в недостаточной мере отвечают современным требованиям эксплуатации скважины. Это связано с особенностями их конструкции в передаче к насосу усилия с помощью промежуточных механических звеньев (станок-качалка и колонна штанг). При этом недостатками являются:

1. деформация колонны штанг при ходе вверх и вниз и потеря длины плунжера насоса;
2. коррозионно-усталостное разрушение колонны штанг, особенно в наклонно направленных скважинах;
3. ограниченность глубины добычи нефти до (1800-2000) м из-за обрыва штанг; механическое истирание колонны штанг и НКТ;
4. ограниченные регулировочные свойства станков-качалок;
5. большая металлоемкость всей конструкции станка-качалки.

Указанных выше недостатков лишен рассматриваемый ПБНА, который состоит из ЦЛВД, сочлененного с плунжерным насосом специальной конструкции (Рис.1). ЦЛВД получает питание с помощью плоского армированного кабеля от преобразователя частоты, расположенного на поверхности земли рядом с устьем скважины. ЦЛВД в скважине создает возвратно-поступательное движение при управлении от ПЧ с помощью микропроцессорной системы, которая обеспечивает необходимое число качаний и длину хода плунжера.

Исключение промежуточных звеньев привода (колонны штанг и станка-качалки) и приближение двигателя к насосу обеспечивает ПБЭНА ряд существенных преимуществ:

- снижается металлоемкость конструкции, затраты на строительные и монтажные работы вследствие исключения станков, фундаментов, штанговых колонн;
- уменьшаются затраты на подземные ремонты;
- уменьшается эмульгирование нефти в насосно-компрессорных трубах;
- не имеет жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину, которая может достигать 3000 м и более.

Выбор такой конструкции ПБЭНА связан с тем фактом, что единственным эффективным вариантом для низко- и среднедебитных скважин остается погружной плунжерный насос станка-качалки.

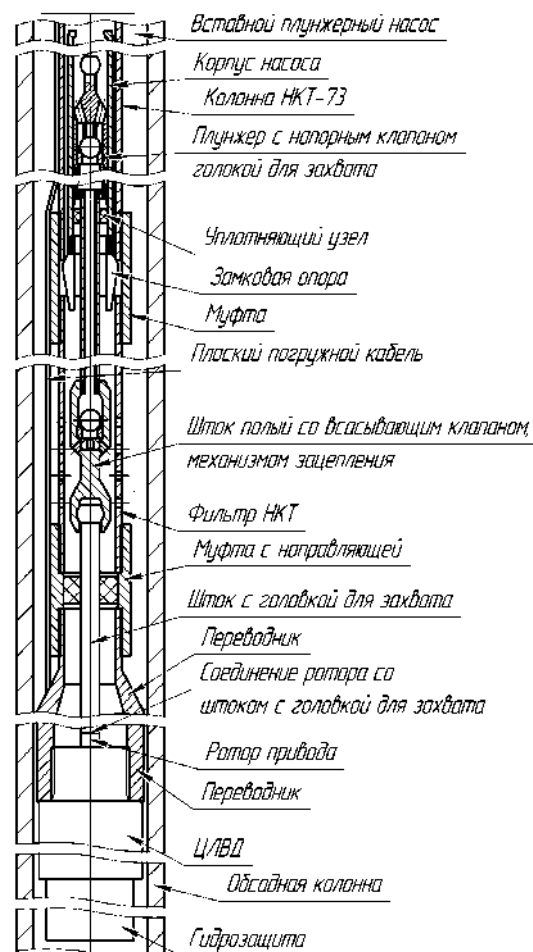


Рис.1 Основные конструктивные элементы ПБНА

Но при этом необходимо учитывать, что с увеличением глубины добычи увеличиваются потери на трение между колонной штанг и НКТ.

Глубины эффективного использования станков-качалок ограничены в 2000 метров, так как при добыче на большей глубине происходит обрыв колонны штанг под действием собственного веса. Наличие колонны штанг в составе станка-качалки приводит к низкому КПД, которое у насосного агрегата из-за трения оказывается в пределах 15-40 процентов.

Соответственно, в качестве альтернативы, представляется более конкурентоспособным использование насосного агрегата, основанного на зарекомендовавшем себя надежностью и характеристиками плунжерном насосе, в связке с погружным цилиндрическим линейным вентильным электродвигателем возвратно-поступательного движения. Использование плунжерного насоса, сочлененного с ЦЛВД, позволяет снизить трение из-за отсутствия колонны штанг, использовать насосную установку в криволинейных скважинах, повысить общий КПД установки в целом, по сравнению со станком-качалкой.

Основной проблемой ЦЛВД в составе ПБНА является пониженный КПД в 55-65%, что связано с необходимостью питания двигателя частотой ПЧ в 5-7 Гц, для нормального обеспечения работы привода, из-за требования низкой скорости хода штанги

плунжерного насоса. Дальнейшее понижение частоты питающей сети от ПЧ ниже 5-7 Гц, для уменьшения количества ходов при добыче нефти и регулирования дебита, нерационально из-за дальнейшего снижения энергетического КПД ЦЛВД [4].

Особенностью проектируемого насосного агрегата ПБЭНА на основе ЦЛВД является возможность работы с максимальной скоростью движения плунжера вверх и вниз, т.е. при максимальном КПД. При этом число двойных ходов регулируется исключительно за счет паузы в работе двигателя. Такой режим можно считать краткосрочно-периодическим. Высокий КПД связан с тем, что активные потери в двигателе не изменяются в зависимости от частоты ПЧ и скорости движения вторичного элемента, а вот полезная мощность пропорционально зависит от скорости движения штока и соответственно частоты ПЧ. Такой режим позволяет поддерживать максимально высокий КПД добычного агрегата при любом дебите. При краткосрочно-периодическом режиме даже после одного хода возвратно-поступательного движения может быть длительный период остановки ЦЛВД. Краткосрочно-периодическое включение ЦЛВД на один цикл хода штока плунжера с регулируемой паузой очень близко, по влиянию на пласт, к непрерывному режиму добычи за счет уменьшения перекачиваемого объема нефти в одном цикле. Практически происходит частотно-импульсное регулирование величины дебита. Учитывая малое количество перекачиваемой нефти за один ход плунжера можно представить такую работу привода как непрерывный режим работы с малым регулируемым дебитом.

При работе насосного агрегата на основе ЦЛВД необходимо учитывать, что передача энергии к забою скважины в виде электрической энергии по кабелю намного эффективнее, чем механическая передача штангой (рис.2).

По наклону характеристик КПД видно, что при передаче энергии механической штангой (рис.2.б) в забой скважины, потери увеличиваются быстрее, чем при передаче электрической энергии по кабелю (рис.2.а), при увеличении глубины. Потери при передаче энергии штангой взяты из практики эксплуатации станков-качалок, а потери в кабеле из эксплуатации погружных центробежных насосов.

Таким образом, можно сделать вывод, что при больших глубинах добычи, штанги становятся мало пригодны и ПБНА получает преимущество. Потери энергии ЦЛВД происходят непосредственно в забое скважины, что вызывает дополнительный нагрев пластовой жидкости и в результате уменьшается отложение парафина на стенках НКТ. Это дает дополнительное преимущество нефтяному агрегату с ЦЛВД на ряде месторождений, где происходит добыча вязкой нефти, нефти имеющей высокое содержание парафинов, так как не требуется установка дополнительных электрических нагревателей в забой. Именно в таком случае погружной скважинный насос с ЦЛВД наиболее эффективен.

При анализе преимуществ нового привода необходимо учитывать, что оценка только по энергетическим параметрам на основе КПД не является полной, так как в процессе эксплуатации добычного

агрегата с ЦЛВД не учитываются затраты на отсутствующие штанги и создание бетонного основания под станком-качалкой.

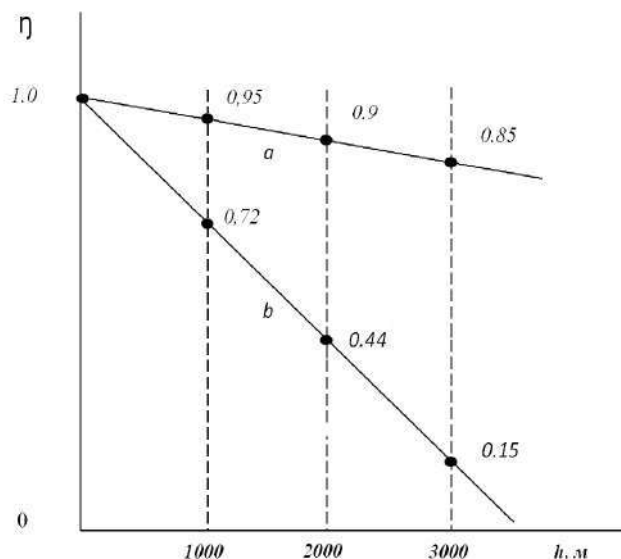


Рис.2 КПД передачи энергии до забоя скважины для различных вариантов исполнения привода, в зависимости от глубины: а – по кабелю к ЦЛВД, б – штангой станка – качалки

При проектировании привода ЦЛВД был выбран именно вентильный двигатель с постоянными магнитами на вторичном элементе. Это связано с необходимостью устранения недостатков погружных приводов на основе АД. Постепенно осуществляется переход к регулируемым вентильным приводам с вытеснением из эксплуатации асинхронных. Такое решение позволило повысить удельные показатели привода. Повышение характеристик электродвигателей произошло за счет возбуждения мощного магнитного поля на вторичном элементе от редкоземельных магнитов. Это позволило увеличить удельные характеристики двигателей в 3 раза по сравнению с АД [3]. При этом важно отметить, что увеличивается именно показатель усилия электродвигателя.

Получение повышенных удельных энергетических показателей электродвигателей стало возможно только с началом применения в ВД новых магнитотвердых материалов с высоким значением удельной энергии. Эти высококоэрцитивные постоянные магниты были разработаны недавно на основе редкоземельных металлов системы неодим-железо-бор.

Рассмотрим основные требования к модулю ЦЛВД для нефтедобычного агрегата. В состав ПБЭНА входит плунжерный насос, характеристики которого определяют основные требования к электроприводу. В зависимости от режима эксплуатации скважин к электродвигателям возвратно-поступательного движения плунжерного насоса и системе управления предъявляются следующие требования:

1. Плавность движения плунжера. При подъеме нефти движение должно быть плавным, без скачков. Скорость плунжера должна плавно уменьшаться в конце хода.

2. Поддачи насоса и ход плунжера должны меняться, в зависимости от депрессии на пласт, что возможно реализовать различными способами.

3. Регулирование производительности плунжерного насоса осуществляется изменением числа двойных ходов, и задается частотой ПЧ. В другом варианте регулирования возможно изменение величины паузы в работе двойных ходов агрегата.

4. Регулирование частоты и длины хода плунжера двигателя должно производиться отдельно и независимо.

5. Обратный ход поршня является не рабочим, и может быть осуществлен при уменьшении рабочего тока ЦЛВД.

6. Усилие одного метра длины ЦЛВД должно быть не менее 4 кН, что обеспечивает добычу нефти на глубине 3000 м при использовании 8 модулей.

На основании известных параметров ШНУ и УЦН были разработаны требования к ПБЭНА и входящему в его состав ЦЛВД.

Основным элементом привода является ЦЛВД, состоящий из трех основных частей, показанных на рис.3:

1. корпус;
2. цилиндрический индуктор с трехфазной обмоткой;
3. вторичный элемент с постоянными магнитами, совершающий возвратно-поступательное движение.

При проектировании ЦЛВД особое внимание было уделено увеличению удельного усилия, действующего на вторичный элемент. Для этого проводился расчетный поиск рациональной конструкции индуктора и вторичного элемента, создающей максимальное тяговое усилие. В результате были проведены многовариантные расчеты множества точек статических угловых характеристик различных конструкций и выбрана наиболее рациональная конструкция ЦЛВД [1].

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Условия работы и требования, предъявляемые к вновь проектируемым насосам скважинных установок, обуславливают применение новых конструктивных решений. Одним из требований, определяющим рациональность и эффективность применения новых добычных агрегатов того или иного исполнения является КПД.

Потери энергии в ЦЛВД разогревают забой скважины, что позволяет вовлечь в разработку запасы вязких нефтей России, имеющих высокое содержание парафинов, объемы и интенсивность разработки месторождений которых в настоящее время недостаточны.

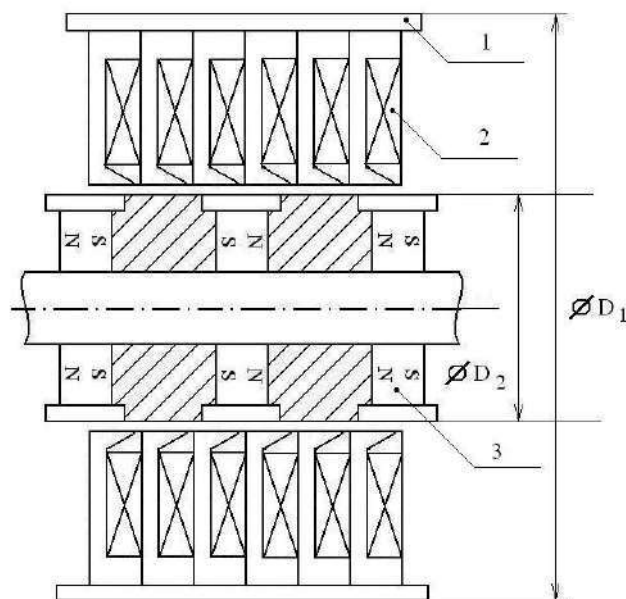


Рис.3 Продольный разрез ЦЛВД

Исключение промежуточных звеньев привода для ПБЭНА (колонны штанг и станка-качалки) и приближение двигателя к насосу позволяет снизить металлоемкость и затраты на строительные и монтажные работы.

Кроме того, в проектируемом приводе нет жестких ограничений по глубине спуска плунжерного насоса в скважину, которая может достигать 3000 метров и более.

Особенностью проектируемого насосного агрегата ПБЭНА на основе ЦЛВД является возможность работы в краткосрочно-периодическом режиме с повышенной скоростью движения вторичного элемента. Такой режим позволяет получить высокий КПД установки при различном числе двойных ходов плунжера насоса за счет частотно-импульсного регулирования добычи, что рационально в связи с необходимостью поддержания высокого энергетического КПД.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ключников А.Т. Моделирование цилиндрического линейного вентильного двигателя / А. Т. Ключников, А. Д. Коротаев, С. В. Шутемов // Электротехника. - 2013. - № 11. - С. 14-17.
- [2] Мищенко И. Т. Скважинная добыча нефти: учеб. пособие / И.Т. Мищенко. Москва: Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. - 2003. - 816 с.
- [3] Шимчак И.В. Инновационные конструкции магнитных систем синхронных машин с постоянными магнитами.- Электричество, 2009. - №9. - С.37-44.
- [4] Шулаков Н.В. Метод расчета электромагнитных процессов в цилиндрическом линейном вентильном двигателе / Н. В. Шулаков, С. В. Шутемов //Электротехника. - 2014. - № 11. - С. 18-22.